



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 53 706 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**B 29 C 45/73**  
B 29 C 45/76

⑳ Aktenzeichen: 101 53 706.9  
㉑ Anmeldetag: 31. 10. 2001  
㉒ Offenlegungstag: 31. 7. 2003

DE 101 53 706 A 1

㉓ Anmelder:  
Kunststoff-Zentrum in Leipzig gemeinnützige  
Gesellschaft mbH, 04229 Leipzig, DE

㉔ Erfinder:  
Säring, Torsten, 04288 Leipzig, DE; Kazmirzak,  
Wolfgang, 06132 Halle, DE; Vanicek, Wolfgang,  
04209 Leipzig, DE; Zwicker, Thomas, 04509  
Delitzsch, DE

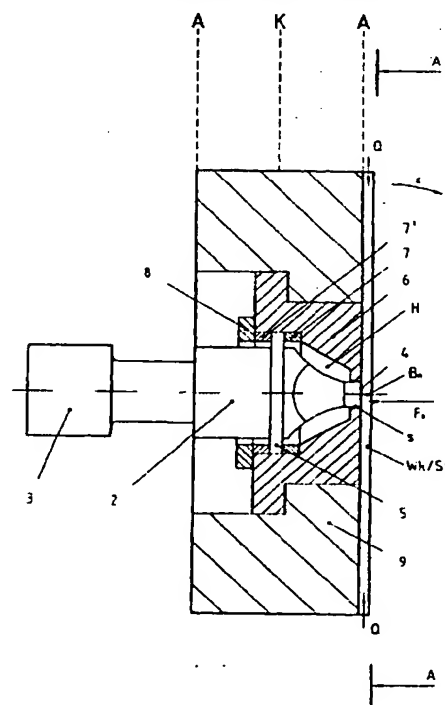
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
CH 6 72 092 A5  
WO 00 15 381 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Einkopplung von Ultraschall in ein Spritzgießwerkzeug

⑤⑦ Mit dem Verfahren und der Vorrichtung zur Einkopplung von Ultraschall in Kavitäten eines Spritzgießwerkzeuges während des Formgebungsprozesses sollen die mechanischen Eigenschaften der Spritzgießformteile, insbesondere im Bindenahtbereich, und das Fließverhalten der Kunststoffschmelze verbessert werden. Erfindungsgemäß wird die Ultraschallenergie durch ein aus der Ultraschallschweißnaht bekanntes Ultraschallsystem direkt an den kritischen Stellen der Kavität, wie Bindenahtbereich, Anguß- und Fließkanalbereich oder Bereich mit Mikrostrukturen, während des Formgebungsprozesses eingeleitet und 1 bis 5 Sekunden aufrechterhalten. Dazu wird das Ultraschallsystem konstruktiv und technologisch in das Spritzgießwerkzeug integriert. Es wird am Befestigungsring im Schwingungsknoten der Sonotrode am Spritzgießwerkzeug so befestigt, daß die Sonotrode frei schwingend unmittelbar bis an die Kavität ragt und die Stirnfläche der Sonotrode gleichzeitig einen Teil der Kavitätswandung bildet. Die Ultraschallenergie wird kunststofftypabhängig und bauteilspezifisch geregelt.



DE 101 53 706 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Einkopplung von Ultraschall in Kavitäten eines Spritzgießwerkzeuges zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Spritzgießformteilen (insbesondere im Bindenahtbereich) und des Fließverhaltens der Kunststoffschmelze während des Formgebungsprozesses.

[0002] Es gibt eine Vielzahl von Kunststoffteilen, die mittels Spritzgießen hergestellt werden und eine oder mehrere Bindenähte enthalten. Bindenähte sind mechanische Schwachstellen im Kunststoffteil, die oft für das Versagen der Bauteile im Einsatz verantwortlich sind. Insbesondere bei Polymeren mit mineralischen Additiven oder Glasfaserszusätzen kann die mechanische Festigkeit im Bereich der Bindenaht im Vergleich zu dem dazugehörigen Basispolymer erheblich herabgesetzt werden. Im Vergleich zum ungefüllten Basistyp des gleichen Polyamids hat man z. B. bei glasfaserverstärktem Polyamid Abminderungsfaktoren von bis zu 65% ermittelt.

[0003] Bindenähte sind insbesondere bei sehr großen Teilen mit Mehrfachanschnitten sowie bei Teilen mit komplizierter Geometrie, z. B. an Fließhindernissen wie Bohrungen und Aussparungen, unvermeidbar. Bindenähte in angußfernen Bereichen, wo die Kunststoffschmelzefronten beim Zusammenfließen bereits relativ erkaltet sind, lassen sich ebenfalls oft nicht vermeiden und stellen eine nicht unerhebliche mechanische Schwachstelle dar.

[0004] Aus der betrieblichen Praxis sind zur Beseitigung dieses Problems drei verschiedene, aber bisher unbefriedigende Lösungen bekannt:

1. Durch der Konstruktion vorangehende Simulationsberechnungen kann die Lage der Bindenähte bestimmt und durch veränderte Werkzeuggestaltung in bauteilkritische Bereiche verschoben werden. Nachteil dieser Variante ist, daß sich die Qualität der Bindenähte an sich nicht verbessert.

2. Durch Veränderungen der Parameter beim Spritzgießprozeß selbst, insbesondere durch erhöhte Masse- und Werkzeugtemperatur, können diffusionsbegünstigende Bedingungen an der Grenzfläche der beiden Schmelzeschichten erzeugt werden, die sich in einer höheren, jedoch auch begrenzten mechanischen Festigkeit äußern. Zwei wesentliche Nachteile dieser Lösung sind höhere Zykluszeiten sowie die mögliche Gefahr der thermischen Zersetzung der Spritzgießformmasse.

3. Durch Einbringen von Additiven verschiedenster Art in Kunststoffe können die chemischen und physikalischen Bindungskräfte zwischen den Polymermolekülen wahlweise abgeschwächt oder verstärkt werden. Durch letzteres können Polymerchargen mit erhöhter Bindenahtfestigkeit im Vergleich zum Basismaterial hergestellt werden. Der Nachteil hierbei ist, daß durch Additive meist andere Stoffeigenschaften negativ beeinflusst werden.

[0005] Aus der DE 36 21 379 A1 ist ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beseitigung von Fließ- bzw. Bindenahteinkerbungen in Spritzgießteilen aus Thermoplast bekannt. Zur Beseitigung von in Bereichen der Fließ- bzw. Bindenähte befindlichen Einkerbungen der Oberfläche von Spritzgießformteilen wird vorgeschlagen, daß man die Schmelze beim Spritzgießen während der Formfüllung in den Formnestwandbereichen der vorausbestimmbaren Fließ- bzw. Bindenähte solange nahe der Erweichungs- bzw. der Kristallschmelztemperatur des Thermoplastes hält, bis die Formfüllung abgeschlossen ist, insbesondere derart,

daß man in den Bereichen der Fließ- bzw. Bindenähte die Kontakttemperatur der Schmelze, also die Temperatur, welche die Randzonen der Schmelze bei Kontakt mit der Formnestwand aufweisen, kurzzeitig anhebt. Dadurch wird das Einfrieren der mit der Formnestwand in Berührung kommenden Randzonen der Schmelze solange verzögert, bis die Fließströme der Schmelze auch in den Bereichen der Formnestwände lückenlos zusammengepreßt und eingeebnet sind, so daß eine Entstehung von Einkerbungen der Oberfläche ausgeschlossen ist. Diese kurzzeitige Aufheizung der Schmelze kann mittels elektrischer Heizung (Heizpatronen), elektrischer HF-Wellen, Mikrowellen oder Ultraschallwellen erfolgen. Diese Prinzipien lassen sich in indirekte und direkte Erwärmungsverfahren einteilen. Indirekte Verfahren bedeuten, daß sich die Wärmequelle (z. B. Heizpatrone) in einem endlichen Abstand hinter der Werkzeugkavität befindet. Bei den direkten Verfahren ist die Wärmequelle selbst Bestandteil der Werkzeugkavität (z. B. elektrischer HF-Wellensensor, Mikrowellengeber oder Ultraschallsonotrode). Heizpatronen sind für die Temperierung von Spritzgießwerkzeugen eine weit verbreitete und einfach einzusetzende Wärmequelle. Die Anwendung und konstruktive Gestaltung der drei genannten direkten Verfahren im Werkzeug gestaltet sich dagegen viel problematischer.

[0006] Der Anmelderin sind aus der betrieblichen Praxis und aus der Fachliteratur keine Lösungen zur Einkopplung von Ultraschall in ein Spritzgießwerkzeug bekannt.

[0007] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur direkten, lokalen Einkopplung von Ultraschall in Kavitäten eines Spritzgießwerkzeuges zur kurzzeitigen, partiellen Aufheizung der Schmelze zu schaffen, wodurch beim Spritzgießen der Formteile die Bindenahtfestigkeit erhöht und an die Festigkeit des vergleichbaren kompakten Materials angenähert werden kann, die Fließfähigkeit der Schmelze in einzelnen, kritischen Werkzeugbereichen, wie im Angußbereich oder in den Fließkanälen und damit das Einspritzverhalten verbessert werden kann, ein verbessertes Abformverhalten von Mikrostrukturen und damit eine höhere Präzision und Genauigkeit der Mikrostrukturen erzielt werden kann und wonach durch Erwärmung lokaler Bereiche der Kavität durch Ultraschall auf die vierteltherme Temperierung der Kavität verzichtet werden kann, so daß kürzere Zykluszeiten erreicht werden.

[0008] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Ultraschallenergie durch ein aus der Ultraschallschweißtechnik bekanntes Ultraschallschweißsystem, bestehend aus Ultraschallwandler, Booster und Sonotrode direkt an der kritischen Stelle der Kavität, wie Bindenahtbereich, Anguß- und Fließkanalbereich oder einem Bereich mit Mikrostrukturen während des Formgebungsprozesses eingeleitet und eine definierte Zeit aufrechterhalten. Das Ultraschallsystem ist dabei so am bzw. im Spritzgießwerkzeug angeordnet, daß die Sonotrode frei schwingend bis an die Kavität des Spritzgießwerkzeuges ragt, wobei die Stirnfläche der Sonotrode gleichzeitig einen Teil der Kavitätswandung bildet. Der zeitliche Verlauf der Ultraschalleinkopplung, wie der Start und die Dauer des Ultraschallimpulses, wird über einen Ultraschallgenerator geregelt, der mit der Steuerung der Spritzgießmaschine mittels einer elektronischen Schaltung verbunden ist. Die eingekoppelte Ultraschallenergie wird über eine externe Steuerung der Amplitude in Abhängigkeit vom Kunststofftyp und vom Werkzeuginnendruck ermittelt und optimal eingestellt. Der Ultraschalleintrag in die Kavität beginnt kurz vor dem Eintreffen des Schmelzestroms im Bereich der Einkopplungsfläche und dauert je nach Formteilstadt und -größe bis zu 5 Sekunden.

[0009] Für das zusammenhängende Verständnis des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Vorrichtung seien der

Aufbau und die Funktion des an sich bekannten Ultraschallsystems in Fig. 1 dargestellt.

[0010] Ein solches Ultraschallsystem besteht aus den Komponenten Ultraschallwandler 1 und Sonotrode 2. Zusätzlich kann als dritte Komponente ein Booster 3 zur Verstärkung der Ultraschallamplitude zwischen Wandler 1 und Sonotrode 2 eingefügt werden. Für die Übertragung der Ultraschallschwingung vom Wandler 1 zur Einkopplfläche 4 sind Resonanzbedingungen notwendig, die über die Geometrien des Boosters 3 und der Sonotrode 2 festgelegt werden. Die Resonanzlänge  $l_R$  von Booster 3 und Sonotrode 2 entspricht in etwa der halben Wellenlänge der verwendeten Ultraschallfrequenz. So sind für 20 kHz-Systeme Basis-Resonanzlängen  $l_R$  von ca. 140 mm notwendig. Für höherfrequente Systeme, z. B. 40 kHz, beträgt die Basis-Resonanzlänge  $l_R$  ca. 70 mm. Durch die Wahl der Ultraschallfrequenz wird die Größenordnung der Komponenten festgelegt. Die Resonanzlänge  $l_R$  wird weiterhin von der Systemtemperatur und der gewählten geometrischen Form der Komponenten – in prozentualen Grenzen – beeinflusst.

[0011] Das Schweißen von Kunststoffteilen beruht auf einem Erwärmungsprozeß, d. h. lokales Aufschmelzen der zu schweißenden Kunststoffteile durch Ultraschallabsorption im Kunststoff. Der Ultraschall wird hierbei an der Einkopplfläche 4 in den Kunststoff übertragen. Parallel dazu wird auf die zu fügenden Kunststoffteile eine äußere Kraft  $F_F$  ausgeübt, welche die molekularen Diffusionsprozesse der Kunststoffmasse der beiden Fügeteile ineinander für die Ausbildung einer mechanisch festen Verbindung begünstigt. Diese Kraft  $F_F$  wird dadurch aufgebracht, daß das Ultraschallsystem in der Ebene der Schwingungsknoten K von Sonotrode 2 oder Booster 3 mechanisch geklemmt wird, z. B. am Befestigungsring 5 der Sonotrode und der Kunststoff Ku durch seinen Schmelzedruck auf die Einkopplfläche 4 drückt. Die Einkopplfläche 4 liegt in der Ebene der Schwingungsamplitude A. Da die eingekoppelte Leistung in Abhängigkeit vom Betrag der Amplitude eine quadratische Funktionalität besitzt, kann in der Ebene A der Einkopplfläche 4 die maximal mögliche Systemleistung in den Kunststoff eingebracht werden. In der Schweißpraxis sind möglichst hohe Leistungen gefordert, die sich physikalisch bedingt mit niedrigeren Ultraschallfrequenzen realisieren lassen. Aufgrund des physikalischen Wirkprinzips der Ultraschallerzeugung sinkt mit steigender Frequenz die maximal erzeugbare Leistung, z. B. erreicht man für 20 kHz-Systeme maximal 4000 W, für 40 kHz-Systeme maximal 700 W.

[0012] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Einkopplung von Ultraschall in ein Spritzgießwerkzeug besteht aus dem an sich bekannten Ultraschallsystem, welches technologisch angepaßt in den Spritzgießprozeß eingeordnet und konstruktiv in eine Werkzeugplatte des Spritzgießwerkzeuges integriert wird, aus einer temperierbaren Buchse, einem vorderen und einem hinteren Distanzring sowie aus einem Klemmring. Das Ultraschallsystem wird am Schwingungsknoten, wahlweise an einem Befestigungsring der Sonotrode oder des Boosters am Spritzgießwerkzeug mechanisch so befestigt, daß die Sonotrode unmittelbar bis an die Kavität ragt und die Stirnfläche der Sonotrode gleichzeitig einen Teil der Kavitätswandung bildet. Dazu wird die Sonotrode in einer temperierbaren Buchse, die wiederum in einer konturnahen Werkzeugplatte angeordnet und befestigt ist, freischwingend gehalten. Die Buchse besitzt eine trichterförmige Ausdehnung mit zylindrischem Ansatz, in die die Sonotrode am Befestigungsring zwischen einem vorderen und einem hinterem Distanzring am Schwingungsknoten eingespannt ist. Diese Halterung der Sonotrode wird am hinteren Distanzring durch einen aufgesetzten Klemmring fixiert.

[0013] Die Sonotrode kann dabei zur Verbesserung der Bindenahtfestigkeit im Bereich der durch Simulation vorherbestimmten Bindenaht oder -nähte, zur Verbesserung der Fließfähigkeit der Schmelze in einzelnen kritischen Bereichen des Angusses oder der Fließkanäle oder zur Erhöhung der Abformgenauigkeit und zur Verbesserung des Abformverhaltens von Mikrostrukturen im Bereich von Mikrostrukturen in der Kavität, angeordnet sein.

[0014] Als Sonotrodenwerkstoff kommen Titan oder gehärteter Stahl zum Einsatz. Das in der Schweißtechnik wegen seiner hervorragenden Ultraschallübertragungseigenschaften üblicherweise verwendete Aluminium kann aufgrund seiner zu geringen mechanischen Festigkeit und schlechteren abrasiven Eigenschaften im Spritzgießwerkzeug nicht eingesetzt werden. Die Schwingungseigenschaften des Ultraschallsystems bzw. seiner Komponenten sind geometrie- und temperaturabhängig. Für eine festgelegte Sonotrodengeometrie muß die Resonanzlänge für die bei der Spritzgießfertigung notwendige Werkzeugtemperatur, die wiederum abhängig vom zu verarbeitenden Kunststoff ist, bestimmt werden.

[0015] Die notwendige Krafteinkopplung für das Verschweißen wird, im Unterschied zum klassischen Ultraschallschweißprozeß, im erfindungsgemäßen Verfahren durch den Schmelzedruck auf die Sonotrode realisiert. Die Stirnfläche der Sonotrode, die der Einkopplfläche des Ultraschalls entspricht, muß an die Form der Werkzeugkavität angepaßt sein und wird bereits bei der Werkzeugherstellung gefertigt.

[0016] Die Ultraschallenergie wird kunststofftypabhängig und formteilspezifisch geregelt. Die Ultraschallbeaufschlagung z. B. des Bindenahtbereiches beginnt kurz vor Eintreffen der Schmelzeströme im Bereich der Einkopplfläche und dauert je nach Formteilmgestaltung und -größe praktisch 1 bis 5 Sekunden. Der Betrag der eingekoppelten Ultraschallenergie wird über die Wahl der Amplitudenhöhe, der Ultraschalleinwirkdauer und des Startzeitpunktes des Ultraschallimpulses kunststoffspezifisch reproduzierbar mittels einer elektronischen Schaltung, welche die Verbindung zwischen Ultraschallgenerator und Spritzgießmaschine realisiert, geregelt.

[0017] Der Wirkmechanismus zur Erreichung einer erhöhten Bindenahtfestigkeit ist folgender: Durch die Ultraschalleinkopplung in die Kunststoffschmelze im Werkzeug wird ein Energieeintrag realisiert, der eine lokale Erwärmung und eine mechanische Durchmischung der Kunststoffschmelze im Bindenahtbereich hervorruft. Die lokale Erwärmung konnte mit einer Infrarot-Kamera nachgewiesen werden. Mit zunehmender Temperatur erhöht sich die Eigenbeweglichkeit der Makromoleküle. Somit können die Moleküle der beiden bindenahtbildenden Fließfronten sich besser durchmischen (Interdiffusion). Begünstigt wird dieser Prozeß durch einen hohen Spritzdruck, der in Analogie zum notwendigen Fügedruck beim klassischen Schweißverfahren einem hohen Schmelzedruck entspricht.

[0018] Die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung und dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin:

1. daß durch die Ultraschallbeaufschlagung der Kunststoffschmelze im Bindenahtbereich die mechanische Festigkeit des Kunststoffteils wesentlich erhöht werden kann,
2. daß durch die Ultraschallbeaufschlagung es möglich ist, mit niedrigeren Masse- und Werkzeugtemperaturen zu arbeiten; dies kann kürzere Zykluszeiten bewirken sowie eine schonendere Materialverarbeitung darstellen,

3. daß in Abhängigkeit vom Kunststofftyp, von den Verarbeitungsbedingungen, insbesondere von der Masstemperatur und vom Werkzeuginnendruck und dem verwendeten Ultraschallsystem (z. B. 20, 40 oder 70 kHz), die eingekoppelte Leistung über die Ultraschalldauer und die Ultraschallamplitude über einen großen Bereich stufenlos eingestellt und die Viskosität und damit die Fließfähigkeit der Kunststoffschmelze während der Verarbeitung in einem breiten Bereich variiert werden kann,
4. daß dieses Verfahren und diese Vorrichtung gezielt zur Verbesserung des Fließverhaltens an lokalen Stellen im Werkzeug eingesetzt werden kann (z. B. Anguß),
5. daß dieses Verfahren und diese Vorrichtung insbesondere bei Anwendung im Mikrospritzguß kritische Fließstellen (z. B. kleinste Kanäle, Mikrostrukturen) überwinden hilft,
6. daß durch dieses Verfahren und diese Vorrichtung verlängerte Fließwege (z. B. beim Dünnwandspritzguß) möglich sind,
7. daß dieses Verfahren und diese Vorrichtung insbesondere bei bindenahtkritischen Polymeren (z. B. bei glasfaserverstärktem Polyamid) mechanisch stabilere Eigenschaftsbilder bedingt durch die Herabsetzung von strukturellen Anisotropien hervorbringt,
8. daß dieses Verfahren und diese Vorrichtung auch für die Verbesserung von Verbundfestigkeiten im Mehrkomponentenspritzguß bei schlecht haftenden Verbindungspartnern einsetzbar sind,
9. daß durch dieses Verfahren und diese Vorrichtung gegebenenfalls auf das Variothermprinzip der Werkzeugtemperierung verzichtet werden kann und somit wesentlich kürzere Zykluszeiten erreichbar sind und
10. daß dieses Verfahren und diese Vorrichtung prinzipiell für alle Kunststofftypen, die mit der Spritzgießtechnologie verarbeitet werden, anwendbar sind.

[0019] Das Verfahren und die Vorrichtung können wirtschaftlich sinnvoll bei neu zu konstruierenden Spritzgießwerkzeugen für technisch hochwertige Teile eingesetzt werden. Es ist zu beachten, daß bei der Anordnung des Ultraschallsystems im Spritzgießwerkzeug die Lage der Temperierkanäle, des Auswerferpaketes und der dazugehörigen Prozeßmeßtechnik wie Druck und Temperatur berücksichtigt werden muß. Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel beschrieben. Es zeigt

[0020] Fig. 1 schematischer Aufbau eines an sich bekannten Ultraschallsystems für das Kunststoffschweißen

[0021] Fig. 2 prinzipielle Befestigung der Sonotrode mittels temperierbarer Buchse in einem Spritzgießwerkzeug am Beispiel einer Zusammenfließstelle eines beidseitig angespritzten asymmetrischen Steges einer Präzisions-Gitterblende

[0022] Fig. 3 Frontansicht der temperierbaren Buchse mit Kavität und eingebauter Sonotrode (im Bereich der Bindenaht)

[0023] Es wird eine Präzisions-Gitterblende aus Polyamid 6 (30% Glasfasergehalt), bestehend aus mehreren Stegen, durch Spritzgießen hergestellt. Aufgrund der Fließweglänge besitzt das Formteil einen Stangenanguß mit einem Mehrfach-Angußverteiler. Die zwei zeitlich parallel fließenden Schmelzeströme  $Q$  treffen sich in der vorher durch Simulation bestimmten Bindenaht  $Bn$ . In diesem Bereich befindet sich an einer Seite der Kavität die Einkoppelfläche 4 der Sonotrode 2. Die Einkoppelfläche 4 befindet sich für eine maximale Leistungsübertragung in der Ebene der Ultraschallamplitude  $A$ . Der umlaufende Spalt zwischen Buchse 6 und

Sonotrode 2 muß so gewählt werden, daß er einerseits ein ungehindertes longitudinales Schwingen der Sonotrode nicht behindert und andererseits die Dichtheit besonders gegenüber niedrigviskosen Schmelzen so gewährleistet wird, daß der Hohlraum  $H$  nicht mit Schmelze gefüllt wird. Transversale Schwingungen in Raumrichtung des Spaltes  $s$  sind vernachlässigbar klein. Ein zu kleines Spaltmaß  $s$  begünstigt das unerwünschte Reiben zwischen Sonotrode 2 und Buchse 6. Im Ausführungsbeispiel beträgt der Spalt 10  $\mu m$ . Befestigt wird die Sonotrode 2 am Befestigungsring 5 zwischen dem vorderen Distanzring 7 und dem hinteren Distanzring 7' sowie mit dem verschraubbaren Klemmring 8. Der Befestigungsring 5 muß sich in der Ebene des Schwingungsknotens  $K$  befinden. Die Mindestdicke des Befestigungsringes 5, damit dieser bei mechanischer Belastung nicht abgesichert wird, richtet sich nach der aufzunehmenden Kraft  $F_s$  des Schmelzedruckes auf die Sonotrode 2. Der Befestigungsring 5 darf andererseits nicht zu dick sein, weil er sonst die Ultraschallschwingungen zu stark dämpft und somit den Wirkungsgrad wesentlich herabsetzt. Die Lage des Befestigungsringes 5 hängt stark von der Sonotrodenform und -länge  $l_R$  ab und muß für jeden Anwendungsfall neu bestimmt werden. Die Sonotrodenlänge  $l_R$  ist resonanzbedingt sowohl frequenz- als auch temperaturabhängig. Dabei entspricht die Sonotrodentemperatur der Werkzeugtemperatur für den zu verarbeitenden Kunststoff. Für das nachfolgende, erfindungsgemäße Beispiel wurde ein 40 kHz-Ultraschallsystem verwendet. Die Gesamtlänge des in das Spritzgießwerkzeug zu integrierenden 40 kHz-Ultraschallsystems, bestehend aus Sonotrode 2, Booster 3 und Wandler 1 beträgt für dieses Beispiel 240 mm. Die Maße der Distanzringe 7 und 7' ergeben sich aus den so bestimmten geometrischen Maßen der Sonotrode 2. Die Buchse 6 wird mit der Werkzeugplatte 9 über Zentrierstifte und Schrauben verbunden. Die Buchse 6 selbst ist für dieses Beispiel temperierbar ausgelegt. Das Teilsystem Sonotrode 2 - Buchse 6 kann somit vorteilhaft außerhalb des Spritzgießwerkzeugs zusammengebaut und justiert werden.

[0024] Die Form des Steges  $St$  ist auch in geometrisch komplizierterer Ausführung denkbar, z. B. in eine Raumrichtung  $x$  leicht gekrümmt. In diesem Fall könnten Sonotrode 2 und Buchse 6 ebenfalls durch gleichzeitige Bearbeitung (Fräsen, Bohren, Erodieren oder Polieren) mit der Werkzeugkavität  $Wk$  problemlos angepaßt werden.

[0025] Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung können z. B. Teile aus Polyamid 6 (30% Glasfasergehalt) hergestellt werden, die im Bereich der Bindenaht eine um 30% erhöhte Zugfestigkeit und eine um 15% erhöhte Biegefestigkeit im Vergleich zum herkömmlichen Spritzgießverfahren besitzen.

#### Liste der verwendeten Bezugszeichen

- 1 Ultraschallwandler
- 2 Sonotrode
- 3 Booster
- 4 Einkoppelfläche
- 5 Befestigungsring
- 6 temperierbare Buchse
- 7 vorderer Distanzring
- 7' hinterer Distanzring
- 8 Klemmring
- 9 Werkzeugplatte
- A Ebenen der Schwingungsamplituden
- Bn Bindenaht im Kunststoffteil
- $F_s$  Kraft des Schmelzedruckes auf die Sonotrode
- $F_F$  Fügekraft beim Kunststoffschweißen
- H Hohlraum zwischen Buchse und Sonotrode

K Ebenen der Schwingungsknoten  
 Ku Kunststoff  
 l<sub>R</sub> Resonanzlänge des Boosters/der Sonotrode  
 Q Richtung der Schmelzeströmung in der Kavität  
 s Spaltmaß zwischen Sonotrode und Buchse  
 St Stieg  
 Wk Werkzeugkavität  
 x Raumrichtung

## Patentansprüche

10

1. Verfahren zur Einkopplung von Ultraschall in Kavitäten eines Spritzgießwerkzeuges zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Spritzgießformteilen, insbesondere im Bindenahtbereich und des Fließverhaltens der Kunststoffschmelze während des Formgebungsprozesses, **dadurch gekennzeichnet**,

daß die Ultraschallenergie durch ein aus der Ultraschallschweißtechnik an sich bekanntes Ultraschallsystem, bestehend aus Ultraschallwandler, Booster und Sonotrode, direkt an den fließtechnisch kritischen Stellen der Kavität, wie im Bindenahtbereich, Anguß- und Fließkanalbereich oder einem Bereich mit Mikrostrukturen während des Formgebungsprozesses eingeleitet und eine definierte Zeit aufrechterhalten wird,

daß der zeitliche Verlauf der Ultraschalleinkopplung, wie der Start und die Dauer des Ultraschallimpulses über einen Ultraschallgenerator geregelt wird, der mit der Steuerung der Spritzgießmaschine über eine elektronische Schaltung verbunden ist,

daß die eingekoppelte Ultraschallenergie über eine externe Steuerung der Amplitude in Abhängigkeit vom Kunststofftyp und vom Werkzeuginnendruck ermittelt und optimal eingestellt wird und

daß der Ultraschalleintrag in die Kavität kurz vor dem Eintreffen des Schmelzestroms im Bereich der Einkoppelfläche beginnt und je nach Formteilgestalt und -größe eine definierte Zeit aufrechterhalten wird.

2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**,

daß das an sich bekannte Ultraschallsystem technologisch angepaßt in den Spritzgießprozeß eingeordnet und konstruktiv in das Spritzgießwerkzeug integriert wird,

daß das Ultraschallsystem am Schwingungsknoten (K) wahlweise an einem Befestigungsring (5) der Sonotrode (2) oder des Boosters (3) am Spritzgießwerkzeug mechanisch so befestigt wird, daß die Sonotrode (2) unmittelbar bis an die Werkzeugkavität (Wk) ragt und die Stirnfläche der Sonotrode (2) gleichzeitig einen Teil der Kavitätswandung bildet und der Einkoppelfläche (4) entspricht,

daß die Sonotrode (2) dazu in einer temperierbaren Buchse (6), die wiederum in einer Werkzeugplatte (9) angeordnet und befestigt ist, frei schwingend gehalten wird,

daß die Buchse (6) eine trichterförmige Ausdehnung mit zylindrischem Ansatz besitzt, in die die Sonotrode (2) am Befestigungsring (5) zwischen einem vorderen Distanzring (7) und einem hinteren Distanzring (7') am Schwingungsknoten (K) eingespannt ist und

daß die Halterung der Sonotrode (2) am hinteren Distanzring (7') durch einen aufgesetzten Klemmring (8) fixiert wird.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sonotrode (2) aus Titan oder gehärtetem Stahl besteht.

4. Vorrichtung nach den Ansprüchen 2 und 3, **dadurch**

gekennzeichnet, daß die Stirnfläche der Sonotrode (2), die der Einkoppelfläche (4) entspricht, an die Form der Werkzeugkavität (Wk) angepaßt ist und bereits bei der Werkzeugherstellung mit gefertigt wird.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1

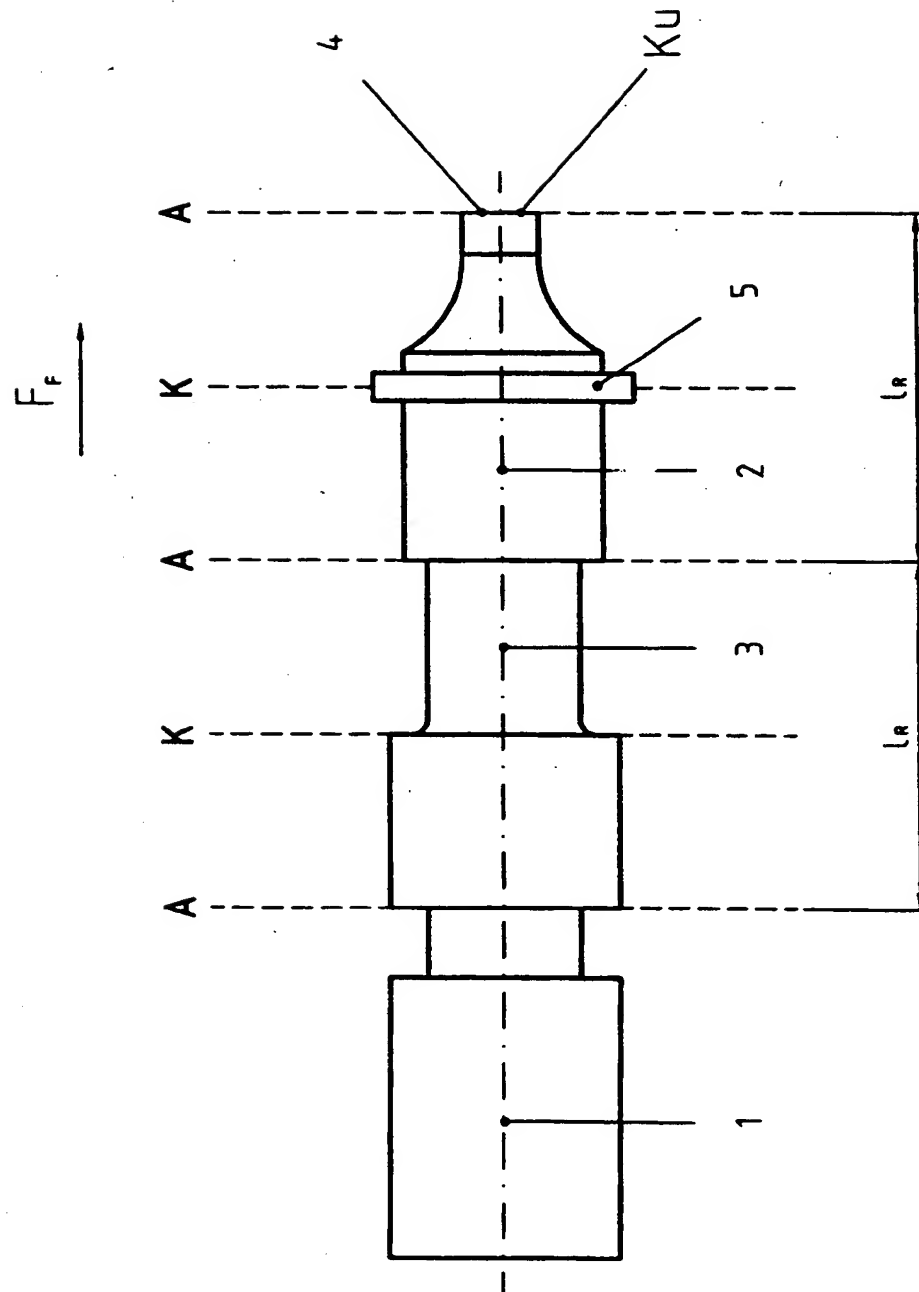


Fig. 2

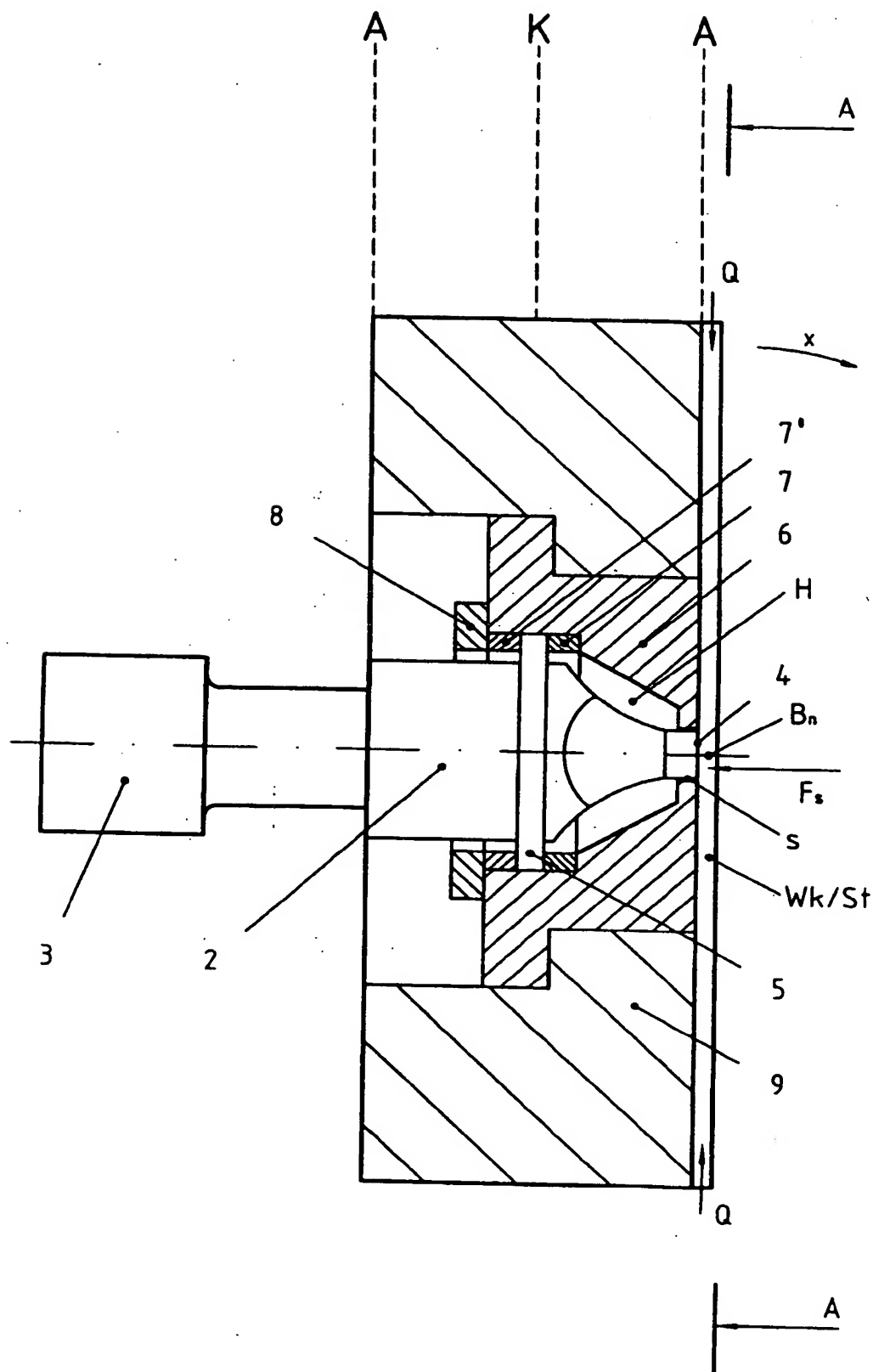


Fig. 3

Ansicht A  
Buchse

